
신경망을 이용한 모형 헬리콥터의 자세제어

김 홍 열*, 하 홍 곤**

Attitude Control of a Simulated Helicopter using a neural network

Hong-Ryel Kim*, Hong-Gun Ha**

요 약

본 논문에서는 모형 헬리콥터의 동적방정식을 유도하고 이 헬리콥터의 자세를 제어하기 위해서 신경망을 이용한 제어법을 제안하였다. 신경망의 결합계수들은 제어계의 출력과 기준시간의 오차를 최소화 하도록 조정된다. 제안한 제어기의 이득은 신경망의 역전파 알고리즘에 의해서 자동적으로 조정된다. MATLAB을 이용한 시뮬레이션 결과를 제시하였다.

Abstract

In this paper, we derive dynamic equation of a simulated helicopter and propose the control method base on a neural network to control its attitude. The coupling coefficients are adjusted to minimize the error between the output of a control system and the reference value. The gain of the proposed controller are automatically adjusted by the back propagation of a neural network. Simulation results using MATLAB are given in this paper.

I. 서 론

고정밀, 고성능 및 고정도를 요구하는 위치제어 계에서 고전적인 제어기법인 PID 또는 I-PD 제어기가 여러 잇점 때문에 널리 이용되고 있지만^[1]

이 제어기들을 이용하는 제어계에서 동작특성은 제어기의 이득에 따라 결정되므로 제어대상의 특성에 알맞은 제어기의 이득을 조정할 필요가 있다. 그리고 제어기의 이득이 적절히 조정된 경우에도 계 응답의 특성이나 부하 변동에 의한 제어대상의

* 동의대학교 일반대학원 전자공학과 석사과정

** 동의대학교 공과대학 전자공학과 교수

접수일자 : 1999년 4월 9일

파라메타 변동시 제어기의 이득을 재조종할 필요가 있으며, 이것에 대하여 많은 연구 결과들이 보고되고 있다.^[2] 그러나 신경망으로 제어기를 구성하여 제어하는 제어계에서 비선형성 문제는 다층신경회로망이 비선형 신경소자로 구성된 한 개 이상의 중간층을 갖는다면 임의의 비선형함수를 사용할 수 있게 되므로써 적응제어나 궤환 선형화제어에 신경망을 이용할 경우 이론적으로 규명할 수 있으며^[3] 그리고 신경망을 이용하여 제어기를 설계할 경우 신경망의 출력이 제어대상의 입력이 되도록 학습되어야 하며, 학습신호로 지정할 제어입력을 정확히 알 수 없기 때문에 신경망을 이용한 제어기를 학습시키는 여러 방법들이 연구보고 되고 있다.^{[4]-[6]}

본 논문에서는 두 개 회전자의 회전에 의해서 생기는 양력을 이용하여 원하는 위치로 이동하는 것이 주목적인 헬리콥터를 모형화한 모형 헬리콥터는 기계적 결합성이 매우 큰 다변수 비선형성 시스템이므로 수학적인 모델링이 어렵다.^[7]

몇가지 가정하에 모형 헬리콥터의 동적방정식을 유도하여 구성도를 제시하였으며 이 헬리콥터의 자세를 제어하기 위하여 신경망을 이용한 I-PD 제어기의 구성법을 제시하였다. 구성한 I-PD제어기로 제어되는 제어계를 MATLAB으로 시뮬레이션하여 제어기의 제어성능을 검토하였다.

II. 모형 헬리콥터와 수학적 모델링

두 개 회전자의 회전에 의해서 생기는 양력을 이용하여 원하는 위치로 이동하는 헬리콥터를 모형화한 모형 헬리콥터의 장치를 그림1에 간단히 보였다.

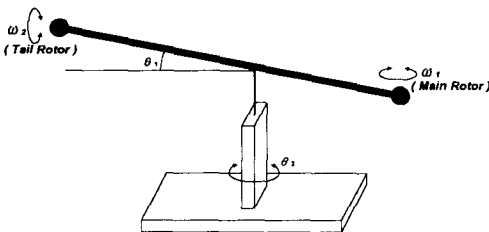


그림 1. 모형 헬리콥터 장치
Fig. 1 Simulated Helicopter Set up

그림1의 장치에서 두 개 회전자(주회전자의 각속도 ω_1 , 꼬리회전자의 각속도 ω_2)는 상하 또는 좌우로 움직일 수 있도록 지지대와 연결되어 있으며 수직 및 수평방향의 전각은 각각 θ_1 및 θ_2 이다. 이 두 개의 회전자를 구동하는 전동기의 입력을 U_i ($i=1,2$)라 하면 전동기의 각속도 ω_i ($i=1,2$)에 대한 전달함수는 다음과 같이 1차로 모델링한다.

$$\frac{\omega_i(s)}{U_i(s)} = \frac{K_{mi}}{T_{mi}s+1} \quad (i=1,2) \dots\dots\dots (1)$$

식(1)에서 K_{mi} 및 T_{mi} 는 전동기의 이득 및 시정수이며 $i=1$ 및 2 는 주회전자 및 꼬리회전자 구동 전동기에 관한 것이다.

모형 헬리콥터에 관한 방정식을 유도하기 위해서 Lagrange방정식과 힘의 평형방정식을 이용하고 모형 헬리콥터의 양력은 주회전자의 속도제곱에 비례하고, 모형 헬리콥터의 속도에 비해서 아주 적다고 가정한다면^[8] 수직면내에서 발생한 토크는

$$J_v \ddot{\theta}_1 = K_1 \omega_1^2 - (f_v \dot{\theta}_1 + K_v \theta_1) - J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

이고, 수평면내에서 발생한 토크는

$$J_h \ddot{\theta}_2 = K_2 \omega_2^2 - (f_h \dot{\theta}_2 + K_h \theta_2) - J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \dots\dots\dots (3)$$

이다. 식(2)와 식(3)에서 K_1 및 K_2 는 비례계수로 다음과 같다.

$$K_i = C_i \lambda (\omega_i R_i)^2 \pi R_i^2 \quad (i=1,2) \dots\dots\dots (4)$$

이며 C_i 는 양력계수 λ 는 공기밀도, R_i 는 각 프로펠라의 지름이다, 그리고 J_v 와 J_h 는 팔의 관성모멘트. K_v 과 K_h 는 공기 저항 계수 f_v 와 f_h 는 점성 마찰 계수 J_1 및 J_2 는 주 및 꼬리회전자의 관성모멘트이다.

식(1), 식(2) 및 식(3)을 이용하여 그림1의 장치를 블록선도로 그리면 그림2와 같다.

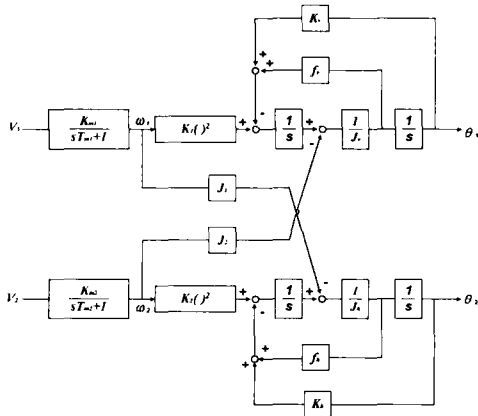


그림 2. 모형 헬리콥터의 구성도
Fig. 2 Block Diagram of a Simulated Helicopter

Ⅲ. 신경망을 이용한 학습 알고리즘

신경망의 학습은 어떤 입력신호에 대해 원하는 출력신호가 되도록 연결강도를 조정하는 것이다.

먼저, 학습을 시작할 때에는 연결강도에 대한 지식은 전혀 없으므로 임의의 작은값으로 초기화한다. 다음으로 신경회로망에 입력신호를 입력하고 출력을 계산한다. 그결과를 오차함수에 의해 계산하고 오차함수가 최소화 되도록 연결강도를 조정하여 다시 계산한다. 이런 일련의 과정을 반복하는 것에 의해서 최종적으로 연결강도가 일정치로 안정되어 임의의 입력신호에 대해 원하는 출력신호가 출력되면 학습이 완료된다. 이러한 신경망의 학습을 위한 신경망의 구성도가 그림3이다.

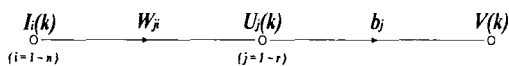


그림 3. 신경망
Fig. 3 Neural Network

이 그림3에서 \$I_i(k)\$는 3번째 입력층의 출력, \$U_j(k)\$는 \$j\$번째 중간층의 출력 그리고 \$V(k)\$는 출력층의 출력이므로 이 \$U_j(k)\$와 \$V(k)\$는 다음과 같다.

$$U_j(k) = \sum_{i=1}^n W_{ji}(k) I_i(k) \dots\dots\dots (5)$$

$$V(k) = \sum_{j=1}^r b_j U_j(k) \dots\dots\dots (6)$$

여기서 \$W_{ji}\$는 입력층과 중간층을 접속하는 결합 계수이고 \$b_j\$는 중간층과 출력층을 접속하는 결합 계수이다. 이 결합계수를 수정하기 위한 수정식을 구하기 위해서 다음의 역전파 알고리즘을 도입하면 다음과 같다.

$$W_{ji}(k+1) = W_{ji}(k) - \eta_1 \frac{\partial E}{\partial W_{ji}} \dots\dots\dots (7)$$

$$b_j(k+1) = b_j(k) - \eta_2 \frac{\partial E}{\partial b_j} \dots\dots\dots (8)$$

식(7)과 식(8)에서 \$\eta_1, \eta_2\$는 학습률이며 \$E\$는 모델의 출력 \$T(k)\$와 계 응답 \$Y(k)\$의 오차함수로 다음과 같다.

$$E = \frac{1}{2} \{T(k) - Y(k)\}^2 \dots\dots\dots (9)$$

식(7)과 식(8)의 미분항에 미분 연쇄법칙과 제어 대상을 선형이라고 가정하면 다음과 같다.

$$W_{ji}(k+1) = W_{ji}(k) + \alpha_1 \{T(k) - Y(k)\} b_j I_i(k) \dots\dots\dots (10)$$

$$b_j(k+1) = b_j(k) + \alpha_2 \{T(k) - Y(k)\} U_j(k) \dots\dots\dots (11)$$

식(10)과 식(11)에서 \$W_{ji}(k+1)\$은 \$W_{ji}(k)\$의 수정식, \$b_j(k+1)\$는 \$b_j(k)\$의 수정식이고 \$\alpha_1\$ 및 \$\alpha_2\$는 상수이다.

그림2의 구성도에서 점선부분을 \$G(s)\$로 표시하여 I-PD 제어기로 모형헬리콥터의 자세를 제어하기 위한 구성도가 그림4이다.

그림4에서 입력층과 출력층을 접속하는 결합계수의 수정식은 식(10)에 의해서 다음과 같다.

$$W_{d1}(k+1) = W_{d1}(k) + \alpha_1 (U_1 - \theta_1) b_1(k) e_{d1} \dots\dots (12-a)$$

$$W_{d1}(k+1) = W_{d1}(k) + \alpha_1 (U_1 - \theta_1) b_1(k) e_{d1} \dots\dots (12-b)$$

$$W_{d1}(k+1) = W_{d1}(k) + \alpha_1 (U_1 - \theta_1) b_1(k) e_{d1} \dots\dots (12-c)$$

$$W_{d2}(k+1) = W_{d2}(k) + \alpha_1 (U_2 - \theta_2) b_2(k) e_{d2} \dots\dots (12-d)$$

$$W_{\rho 2}(k+1) = W_{\rho 2}(k) + \alpha_1(U_2 - \theta_2)b_2(k)e_{\rho 2} \dots (12-e)$$

$$W_{\rho 2}(k+1) = W_{\rho 2}(k) + \alpha_1(U_2 - \theta_2)b_2(k)e_{\rho 2} \dots (12-f)$$

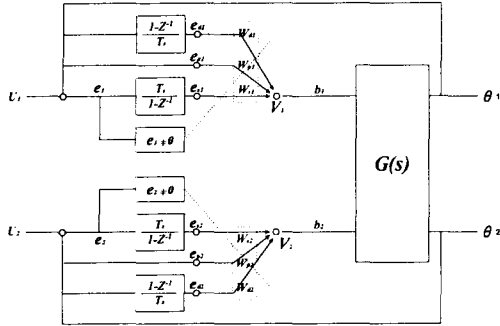


그림 4. I-PD 제어계
Fig. 4 I-PD Control System

V_1 과 V_2 가 제어대상의 입력이 되도록 하기 위해 중간층과 출력층을 접속하는 결합계수의 수정식을 식(11)에 의해서 수정할 수 있지만 $b_1(k)=1$, $b_2(k)=1$ 로 하였고, 식(9)와 식(12)에서 $T(1)=U_1$, $T(2)=U_2$, $Y(1)=\theta_1$, $Y(2)=\theta_2$ 이다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

그림4를 시뮬레이션하는데 필요한 모형 헬리콥터의 제정수는 표 1과 같다.

표 1. 모형 헬리콥터의 제정수
Table 1. Parameter values of a simulated helicopter

팔의 관성계수	(J_v, J_h)	Nms/rad	8.33×10^{-4}	7.41×10^{-4}
양력계수	(C_1, C_2)		2.18×10^{-6}	3.23×10^{-7}
프로펠러의 관성계수	(J_1, J_2)	Nms/rad	4.12×10^{-7}	2.53×10^{-7}
점성 마찰계수	(f_v, f_h)	Nms^2/rad	6.67×10^{-4}	6.89×10^{-4}
공기 저항계수	(K_v, K_h)	Nms	1.84×10^{-4}	8.96×10^{-4}

그리고 직류 서어보 전동기의 제정수는 표 2와 같다.

표 2. 직류 서어보 전동기의 제정수
Table 1. Parameter values of a DC motor

등가이득	K_{m1}, K_{m2}	39.09	34.04
등가시정수	T_{m1}, T_{m2}	0.0047	0.0041

그리고 $\alpha_1=0.02$ 이다. 초기치를 적절히 선정해 주고 식(12)를 계산하였다.

제한한 제어기의 성능을 검토하기 위해서 그림4를 Matlab으로 시뮬레이션하여 그 결과를 고찰하였다. 인가한 입력전압은 $U_1 = 5[v]$, $U_2 = 10[v]$ 이다. 그림5는 $W_{a1}(0) = 0.0025$, $W_{b1}(0) = 0.0032$, $W_{s1}(0) = 0.00015$, $W_{a2}(0) = 0.00015$, $W_{b2}(0) = 0.0035$ 그리고 $W_{s2}(0) = 0.00023$ 로 하였을 때 계의 응답으로 (a)는 양각 (b)는 방위각 (c)는 주회전자의 각속도 그리고 (d)는 부회전자의 각속도이다. 초기치 설정이 양호하지 못하여 자세가 빠른시간내에 안정되지 못한다. 이것을 개선하기 위해서 $W_{a1}(0) = 0.00015$, $W_{b1}(0) = 0.0021$, $W_{s1}(0) = 0.00012$, $W_{a2}(0) = 0.00024$, $W_{b2}(0) = 0.00225$ 그리고 $W_{s2}(0) = 0.000135$ 로 하였을 때 계 응답특성이 그림6이다. 그림6에서 초기치를 적당히 선정해 주므로써 비교적 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

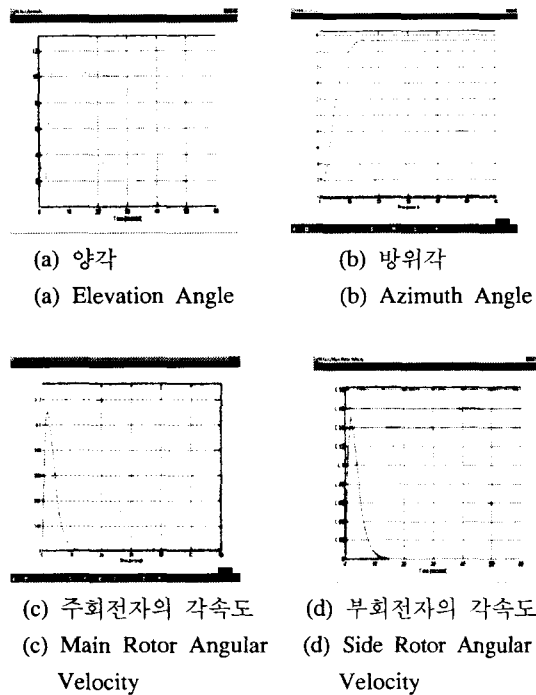


그림 5. 제어 결과(I)
Fig. 5 Control Results

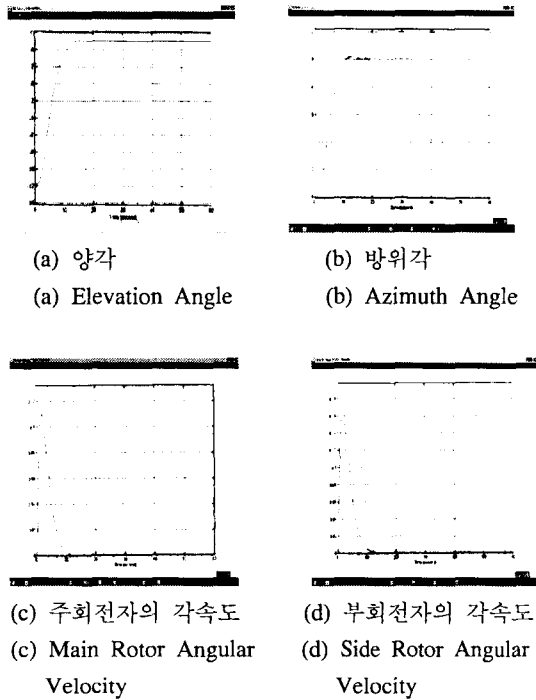


그림 6. 제어 결과(II)
Fig. 6 Control Results

V. 결 론

본 논문에서 이용된 제어대상인 비선형성 및 기계적 상호결합성이 아주 큰 모형 헬리콥터는 다변수 시스템이며 수학적모델링이 매우 어려운 제어 시스템이다. 이 모형 헬리콥터에 대한 동적방정식을 유도하고 구성도를 제시하였으며 신경망을 이용하여 이 시스템의 부상 후 정지자세를 안정화하기 위한 제어기를 설계하였다. 설계된 제어기는 I-PD 형이며 이 제어기의 이득들이 오차함수를 최소화하는 역전과 알고리즘에 의해서 자동으로 조정되게 하였다. 제안한 모형 헬리콥터의 자세 제어 계를 시뮬레이션한 결과 빠른 시간내에 자세가 안정되는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Toru Yamamoto Hirokazu Ishihara, Sigeru Omata, "A construction of Model following Adaptive control system with PID control structure," T. IEE., Vol. 111-c, No. 1, pp. 32-39, 1991.
- [2] Katsuhisa Endo, Yoshihisa Ishida and Takashi Honda, "Gain adjustment of I-PD control system," T.IEE. Japan, Vol. 113-c, No. 6, pp. 409-416, 1993.
- [3] G. lightbody and G. W. Irwin, "Direct neural model reference adaptive control," IEEE. Proc-control theory, Appl., Vol 142, no. 1, pp. 31-43, 1995.
- [4] M. Yuan, A. N. Poo and G. S Hong, "Direct neural control system; Nonlinear extension of adaptivecontrol." IEEE Proc-control theory, Appl., Vol. 142, No. 2, pp. 661-667, 1995.
- [5] K. I. Funahashi "On the approximate realization of continuous mapping by neural networks," Neural networks, No. 2, pp. 193-198, 1988.
- [6] K. J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski and P. J. Gawthrop "Neural networks for control system-survey," Automatica, Vol. 28, No. 6, pp. 1083-1112, 1992.
- [7] 박기훈, 손원기, 권오규 "TMC320C31을 이용한 모형 헬리콥터의 자세제어 시스템 실현," Proceeding of the 12th KACC, October, pp. 329-332, 1997.
- [8] 이승국, 이명희, 권오규 "견실한 다변수 제어에 의한 모형헬리콥터의 지세제어기 설계 및 실험." 제어,자동화.시스템공학 논문지 제4권 제1호 pp.32-37, 1998.



김 홍 열(Hong-Ryel Kim)

1998년 2월 동의대학교 전자공
학과 졸업(공학사)

현재 동의대학교 대학원 전자공
학과 석사과정 재학

* 주관심분야 : 제어이론, 지능
형 및 비선형 제어, 최적제어



하 홍 곤(Hong-Gun Ha)

1972년 2월 동아대학교 전자공
학과 졸업(공학사)

1977년 2월 동아대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)

1983년 2월 중앙대학교 대학원
전기공학과 졸업(공학박사)

현재 동의대학교 공과대학 전자공학과 교수

* 주관심분야 : 제어이론, 지능형 및 비선형 제어,
최적제어